

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 86118075.0

51 Int. Cl. 4: H02M 7/757

22 Anmeldetag: 24.12.86

30 Priorität: 03.02.86 DE 3603219

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 19.08.87 Patentblatt 87/34

84 Benannte Vertragsstaaten:
 FR SE

71 Anmelder: **BBC Aktiengesellschaft Brown,
 Boveri & Cie.
 Haselstrasse
 CH-5401 Baden(CH)**

72 Erfinder: **Kloss, Albert
 Ahornstrasse 1
 CH-5442 Fislisbach(CH)
 Erfinder: Schäfer, René
 Gerstenweg 7
 CH-5034 Suhr(CH)**

54 **Unter- und Übersynchrone Stromrichter-kaskade sowie Verfahren zu deren Betrieb.**

57 Unter- und übersynchrone Stromrichter-kaskaden mit einer Asynchronmaschine (5) mit Schleifringläufer, bei der die im untersynchronen motorischen oder übersynchronen generatorischen Betrieb freiwerdende Schlupfleistung über einen Umrichter - (36) dem Stromversorgungsnetz (1) wieder zugeführt wird, werden zum Antrieb von Pumpen, Ventilatoren und Verdichtern im Leistungsbereich von 500 kW - 5 MW verwendet. Damit die unter- und übersynchrone Stromrichter-kaskade im untersynchronen Betriebsbereich auch generatorisch und im übersynchronen Betriebsbereich auch motorisch verwendet werden kann, wird der Umrichter (36) mit Gleichstrom-zwischenkreis so betrieben, dass der Zwischenkreisstrom (I_d) kurzzeitig verschwindet, so dass eine Kommutierung der Ventile eines maschinenseitigen Stromrichters (10) möglich ist. Dabei wird der Rotorstrom der Asynchronmaschine (5) mittels eines Koordinatenwandlers (31) über einen maschinenseitigen Zündimpulsgeber (23) nach Betrag (I_s) und Winkel (ϕ) vorgegeben. Mittels eines Nullstromdetektors (26) wird festgestellt, ob für ein vorgegbares Kurzzeitintervall von 10 μ s der Zwischenkreisstrom (I_d) < 10 A und die Spannung an den Thyristoren eines netzseitigen Stromrichters - (12) < 20 V ist, damit über den maschinenseitigen Zündimpulsgeber (23) die Kommutierung der Thyristoren des maschinenseitigen Stromrichters (10) freigegeben werden kann.

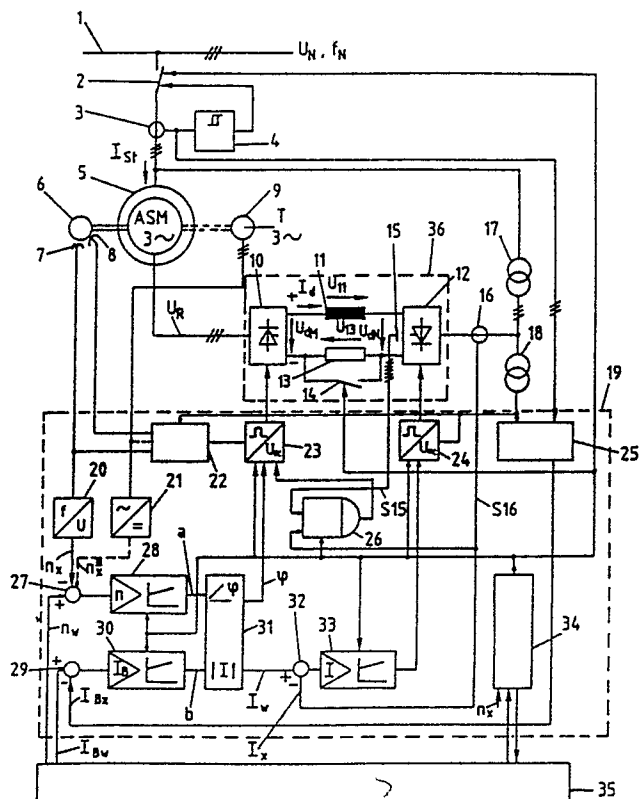


FIG. 1

Unter-und übersynchrone Stromrichteraskade sowie Verfahren zu deren Betrieb

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einer unter-und übersynchronen Stromrichteraskade nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Askade.

Mit dem Oberbegriff nimmt die Erfindung auf einen Stand der Technik von unter-und übersynchronen Stromrichteraskaden Bezug, wie er aus der Dissertation von P. Zimmermann, "Ueber-und untersynchrone Stromrichteraskade als schneller Regelantrieb", Technische Hochschule Darmstadt, 1979, S. 39 -41 und 84 -91, bekannt ist. Dort ist bei einem Umrichter mit Gleichstromzwischenkreis für eine Drehzahlregelung von Null bis zur 2fachen Synchrodrehzahl eine Drehzahlregelung mit unterlagerter Stromregelung des Zwischenkreisstromes durch den netzseitigen Stromrichter vorgesehen. Der maschinenseitige Stromrichter hat die Aufgabe, den vom netzseitigen Stromrichter eingepprägten Strom so in den Läuferkreis einzuspeisen, dass sich maximales Drehmoment ergibt. Die zugehörigen Impulse liefert ein Zündzeitpunktrechner, der sich an der Ständerspannung und der Läuferstellung orientiert. Wenn in der Nähe der synchronen Drehzahl an den Schleifringen der Asynchronmaschine keine ausreichende Kommutierungsspannung zur Verfügung steht, wird der maschinenseitige Stromrichter nach dem Verfahren der Zwischenkreistaktung in der so erzielten stromlosen Pause weitergeschaltet. Der Befehl zur Zwischenkreistaktung wird auf den Nulldurchgang der Spannung an der Zwischenkreisdrossel synchronisiert und ein parallel zur Zwischenkreisdrossel angeordneter Kurzschlussthyristor gezündet. Ein Nullstromdetektor für den Zwischenkreisstrom gibt den Zündimpulsgeber des maschinenseitigen Stromrichters frei. Eine gleichzeitige Regelung der Netzblindleistung durch die Zwischenkreistaktung ist nicht vorgesehen.

Aus der DE-OS 2 935 320 ist ein Motorsteuersystem bekannt, bei dem der Rotor eines Motors über einen Umrichter mit Gleichstromzwischenkreis an ein Stromversorgungsnetz angeschlossen ist. Für den netzseitigen Stromrichter des Umrichters ist eine Drehzahlregelung mit unterlagerter Stromregelung vorgesehen und für den maschinenseitigen Stromrichter eine Blindleistungsregelung, wobei der Zündwinkel zusätzlich von einer Referenzphase einer induzierten Leistung abhängt, welche in der Sekundärwicklung des Motors induziert wird. Nachteilig dabei ist, dass ein Phasenschieber benötigt wird, der voreilende Blindleistung erzeugt. Der maschinenseitige Stromrichter wird mittels der Rotorspannung kommutiert, so dass der

Motor nur Blindleistung aus dem Stromversorgungsnetz beziehen, aber nicht an das Netz abgeben kann. Ein übersynchroner Betrieb ist von der Antriebsseite her nicht möglich.

5 Aus der deutschen Zeitschrift: Regelungstechnische Praxis und Prozess-Rechentechnik 9 (1973), S. 217 -221, ist es für eine Drehzahlregelung einer umrichter gespeisten Asynchronmaschine bekannt, kartesische Wirk- und Blindkomponenten in einem Koordinatenumwandler in den Strombetragsanteil für den netzseitigen Stromrichter und den Phasenwinkel für den maschinenseitigen Stromrichter umzuwandeln. Es wird der Statorstrom in einer drehmomentbildenden Wirkkomponente und in einer flussbestimmenden Blindkomponente geregelt, nicht jedoch die Netzblindleistung und der Rotorstrom. Nachteilig dabei ist, dass zur Kommutierung des Stroms von einem Strang auf den nächsten Löschyristoren und entsprechend aufgeladene Löschkondensatoren erforderlich sind.

In der Schweizer Firmenzeitschrift Brown Boveri Mitteilungen 4/5 (1982) S. 142 -150 ist ein Antriebssystem mit Schleifringmotor und untersynchroner Stromrichteraskade als drehzahlvaribler Antrieb für grosse Kreiselpumpen für die Wasserversorgung von Ballungsgebieten und Kraftwerken im Leistungsbereich von 2 MW -20 MW beschrieben. Dabei braucht der Umrichter mit Gleichstromzwischenkreis nicht für die volle, sondern nur für die Schlupfleistung des Motors, entsprechend 30 % -50 % von dessen Nennleistung, ausgelegt zu sein. Der ungesteuerte, maschinenseitige Stromrichter des Umrichters weist Dioden in seinen Brückenzweigen auf. Im Gleichstromzwischenkreis ist ein mittels eines Schnellschalters überbrückbarer Zwischenkreiswiderstand vorge sehen, der bei Netzumschaltungen den Strom im Zwischenkreis begrenzt. Eine derartige Askade kann untersynchron nur motorisch und übersynchron nur generatorisch betrieben werden. Zur Deckung des Blindleistungsbedarfs ist zudem meistens eine cos ϕ -Kompensationseinrichtung erforderlich.

45 Die Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen 1 und 6 definiert ist, löst die Aufgabe, eine unter- und übersynchrone Stromrichteraskade sowie ein Verfahren zu deren Betrieb anzugeben, die im untersynchronen Betriebsbereich auch generatorisch und im übersynchronen Betriebsbereich auch motorisch betreibbar sind, bei gleichzeitiger Regelbarkeit der Netzblindleistung.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die unter- und übersynchrone Stromrichter-kaskade vielseitiger als die konventionelle anwendbar ist. Ausser der Wirkleistung ist auch Blindleistung regelbar, so dass eine besondere $\cos \phi$ -Kompensationseinrichtung eingespart werden kann. Durch Abgabe von kapazitiver Blindleistung ans Stromversorgungsnetz können Kosten reduziert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass einfache netzseitige und maschinenseitige Stromrichter mit steuerbaren Drehstrombrücken ohne Kommutierungskondensatoren verwendet werden können. Es sind auch keine Zwangskommütierungshilfsmittel, wie Löschschrwingkreise usw., nötig.

Zum einschlägigen Stand der Technik wird zusätzlich auf die Schweizer Firmenzeitschrift Brown Bovery Mitteilungen 4/5 (1982) S. 151 -156 verwiesen. Dort wird als drehzahlvariables Antriebssystem ein Synchronmotor mit Vier quadranten-Umrichter und Erregerstellglied beschrieben. Der Umrichter besteht aus zwei gleichartigen, gesteuerten Stromrichtern in Dreiphasen-Brückenschaltung, die beide gleichspannungsseitig über einen Gleichstromzwischenkreis mit einer Glättungs-drossel gekoppelt sind. Im motorischen Betrieb arbeitet der netzseitige Stromrichter als Gleichrichter, der maschinenseitige als Wechselrichter, der den Synchronmotor mit variabler Frequenz und Spannung speist. Im generatorischen Betrieb (Bremsbetrieb) vertauschen beide Stromrichter ihre Rollen. Beide Stromrichter sind fremdkommutiert, und zwar der netzseitige Stromrichter durch die Netzspannung und der maschinenseitige Stromrichter durch die Maschinenspannung. Eine erste Regelkaskade aus einem Drehzahlregler mit unterlagertem Stromregler macht den netzseitigen Stromrichter zur geregelten Stromquelle. Eine zweite Regelkaskade aus einem Ständerspannungsregler mit unterlagertem Erregerstromregler steuert das Stellglied der Polraderregung. Wegen der Selbstführung des maschinenseitigen Stromrichters durch die Maschinenspannung, die bei sehr tiefen Frequenzen nicht genügt, wird zum Starten der Bereich von 0 bis einigen Hz durch Pulsen des Gleichstromes im Zwischenkreis durchfahren.

Aus der Zeitschrift Neue Technik (NT) Nr. 6 - (1974) S. 215 -227 ist eine Wirk- und Blindleistungsregelung von Netzkupplungsumformern 50/16 2/3 Hz mit Umrichter-kaskade bekannt, bei dem die Referenzspannung des maschinenseitigen Steuer-satzes in einem näher angegebenen Rotordrehfeld-geber aus der Maschinendrehzahl und der Netzspannung errechnet wird. Durch die Vorgabe der Amplitude und Phasenlage des Rotorstromes lassen sich die Wirkleistung, die Drehzahl und die Blindleistung bzw. der $\cos \phi$ der Maschine regeln.

Der Netzkupplungsumformer kann sowohl in unter-synchronem wie auch in übersynchronem Betrieb arbeiten. Als Rotorstromrichter wird ein netzkommutierter, steuerbarer Direktumrichter verwendet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schaltbild einer unter- und übersynchronen Stromrichter-kaskade,

Fig. 2 ein Diagramm mit Strom- und Spannungskennlinien der Stromrichter-kaskade gemäss Fig. 1,

Fig. 3a) ... d) Signaldiagramme über den Stromverlauf im Pulsbetrieb durch den netzseitigen Stromrichter und die Winkelvorgabe durch den maschinenseitigen Stromrichter der Stromrichter-kaskade gemäss Fig. 1 für unsynchron generatorischen oder übersynchron motorischen Betrieb,

Fig. 4a) ... d) Signaldiagramme über den Stromverlauf im Pulsbetrieb durch den netzseitigen Stromrichter und die Winkelvorgabe durch den maschinenseitigen Stromrichter der Stromrichter-kaskade gemäss Fig. 1 für unsynchron motorischen oder übersynchron generatorischen Betrieb und

Fig. 5 die Abhängigkeit der Wirkleistung und der Blindleistung vom vorgegebenen Rotorstrom der Asynchronmaschine der Stromrichter-kaskade gemäss Fig. 1.

In Fig. 1 ist mit 1 ein dreiphasiges Stromversorgungsnetz mit einer Netzspannung U_N und einer Netzfrequenz f_N bezeichnet, das über einen Netzschalter 2 und einen Stromwandler bzw. Netzstromdetektor 3 einerseits über eine dreiphasige Statorzuleitung mit den Stator- oder Feldwicklungen eines Asynchronmotors bzw. einer Asynchronmaschine 5 mit Schleifringläufer und andererseits mit einer Primärwicklung eines dreiphasigen Leistungs- bzw. Stromrichtertransformators 17 in Verbindung steht.

Ein eingangsseitig mit dem Netzstromdetektor 3 verbundener Schmitt-Trigger bzw. Ueberstromauslöser 4 mit vorgebbarem Ueberstromgrenzwert öffnet in Abhängigkeit von einem den Ueberstromgrenzwert überschreitenden Ueberstrom den Netzschalter 2, um Schäden der unter- und übersynchronen Stromrichter-kaskade durch Ueberströme zu vermeiden.

Die Sekundärwicklung des Stromrichtertransformators 17 ist einerseits über einen Umrichter-Stromdetektor 16 mit dem Wechselspannungsausgang eines netzseitigen Stromrichters 12 eines Umrichters 36 und andererseits mit der Primärwicklung eines Hilfs- bzw. Steuerschaltungs-Transformators 18 verbunden. Die Sekundärwicklung des Steuerschaltungs-Transformators 18, an der eine der Netzspannung U_N proportionale Spannung abgreifbar ist, ist mit einem Rotordrehfeldgeber 22, einem netzseitigen Zündimpulsgeber 24 zur Erzeugung der

Zündimpulse für den netzseitigen Stromrichter 12 und mit einer Wirk- und Blindstrom-Istwerterfassungseinrichtung 25 verbunden. Die z.B. aus der o.g. Zeitschrift NT 6 (1974) S. 220, Bild 6, bekannte Wirk- und Blindstrom-Istwerterfassungseinrichtung 25 ist eingangsseitig ferner mit dem Ausgang des Netzstromdetektors 3 verbunden, an den ein dem Iststrom proportionales Stromsignal abgreifbar ist. Ausgangsseitig liefert die Wirk- und Blindstrom-Istwerterfassungseinrichtung 25 ein dem Blindstromwert proportionales Blindstromistwertsignal I_{Bx} an den "-"-Eingang eines Subtrahiergliedes 29.

Der Umrichter mit Gleichstromzwischenkreis 36 weist ausser dem netzseitigen Stromrichter 12 ferner einen maschinenseitigen Stromrichter 10, eine Zwischenkreisdrossel 11, einen Zwischenkreiswiderstand 13 und einen Zwischenkreisschalter 14 auf.

Beide Stromrichter sind als dreiphasige Brückenschaltungen mit Thyristoren in den Brückenzweigen ausgeführt. Die gleichstromseitigen Kathoden der Thyristoren des maschinenseitigen Stromrichters 10 sind über eine von einem Zwischenkreisstrom I_d durchflossene Zwischenkreisdrossel 11 mit den gleichstromseitigen Anoden des netzseitigen Stromrichters 12 verbunden. Die gleichstromseitigen Anoden der Thyristoren des Stromrichters 10 sind über den Zwischenkreiswiderstand 13 mit den gleichstromseitigen Kathoden der Thyristoren des Stromrichters 12 verbunden. Parallel zum Zwischenkreiswiderstand 13 ist der Zwischenkreisschalter 14, vorzugsweise ein abschaltbarer sogenannter GTO-Thyristor vorgesehen, der in Abhängigkeit vom Ausgangssignal einer Schutz- und Steuereinrichtung 34 gesteuert ist.

Mit U_{13} ist der Spannungsabfall im Zwischenkreiswiderstand 13 bezeichnet, mit U_{11} der Spannungsabfall über der Zwischenkreisdrossel 11, mit U_{dM} die Gleichspannung am maschinenseitigen Stromrichter 10 und mit U_{dN} die Gleichspannung am netzseitigen Stromrichter 12. Dabei gilt:

$$U_{dM} = U_{dN} + U_{13} + U_{11}.$$

Mit 15 sind 6 Thyristorspannungssignalleitungen bezeichnet, die Signaleingängen eines Nullstromdetektors 26 zugeführt sind und Thyristorspannungssignale S15 führen, welche den an den einzelnen Thyristoren des Stromrichters 12 anliegenden Spannungen proportional sind. Ein weiterer Signaleingang des Nullstromdetektors 26 ist mit dem Signalausgang des Umrichter-Stromdetektors 16 verbunden, an dem ein dem Umrichterstrom proportionales Umrichter-Stromsignal S16 anliegt.

Die Rotorwicklungen der Asynchronmaschine 5 sind über dreiphasige Rotorzuleitungen mit einer Rotorspannung U_R mit dem Wechselspannungsausgang des maschinenseitigen Stromrichters 10 verbunden. Ein mit der Rotorwelle gekoppelter

Drehzahlgeber 6 liefert über einen Drehzahlimpulsdetektor 7 ein der Drehzahl des Rotors proportionales Signal an einen Drehzahl-Spannungswandler 20, der ausgangsseitig ein Drehzahlstwertsignal n_x an den "-"-Eingang eines Subtrahiergliedes 27 liefert. Ueber einen "+"-Eingang ist dem Subtrahierglied 27 ein Drehzahlstwertsignal n_w von einer Steuerzentrale oder von einer Anlagenleittechnik 35 zugeführt.

Das Subtrahierglied 29 erhält über einen "+"-Eingang von dieser Steuerzentrale 35 ein Blindstromstwertsignal I_{Bw} . Der Ausgang des Subtrahiergliedes 27 ist über einen Drehzahlregler 28, an dem ausgangsseitig ein Regelsignal a abgreifbar ist, mit einem ersten Eingang eines Koordinatenwandlers 31 zur Umwandlung von kartesischen Koordinaten in Polarkoordinaten verbunden. Der Ausgang des Subtrahiergliedes 29 ist über einen Blindstromregler 30, an dem ausgangsseitig ein Regelsignal b abgreifbar ist, mit einem zweiten Eingang des Koordinatenwandlers 31 verbunden. Ausgangsseitig liefert der Koordinatenwandler 31 ein Betragssignal bzw. Stromstwertsignal $I_w = \sqrt{a^2 + b^2}$, das einem "+"-Eingang eines Subtrahiergliedes 32 zugeführt ist, und ein Phasenlage-signal $\phi = \arctan b/a$, das einem Signaleingang eines maschinenseitigen Zündimpulsgebers 23 zugeführt ist.

Das Subtrahierglied 32 weist einen "-"-Eingang auf, der mit dem Ausgang des Umrichter-Stromdetektors 16 verbunden ist. Der Ausgang des Subtrahiergliedes 32 ist über einen Stromregler 33 mit einem Signaleingang des Zündimpulsgebers 24 verbunden. Die mit der Steuerzentrale 35 in Wirkverbindung stehende Schutz- und Steuereinrichtung 34 steht ausgangsseitig mit den drei Reglern 22, 30 und 33, mit den beiden Zündimpulsgebern 23 und 24, mit dem Zwischenkreisschalter 14 und mit dem Netzschalter 2 in Steuerverbindung, derart, dass den angesteuerten Einrichtungen Ein- oder Ausschaltbefehle gegeben werden, in Abhängigkeit vom Erreichen einer minimalen Rotordrehzahl n_{min} für Pulsbetrieb, von Sicherungsüberwachungen, Uebertemperatur von Halbleiterbauelementen, Kühlungsausfall, Transformator-Ueberlastschutz usw.

Der Rotordrehfeldgeber 22 ist eingangsseitig einerseits mit dem Ausgang des Drehzahlimpulsdetektors 7 und andererseits mit dem Ausgang eines Synchronimpulsdetektors 8 verbunden, der je Umdrehung der Rotorwelle einen Impuls liefert. Ausgangsseitig ist der Rotordrehfeldgeber 22 mit einem Signaleingang des maschinenseitigen Zündimpulsgebers 23 verbunden. Ein weiterer Signaleingang des Zündimpulsgebers 23 ist mit dem Ausgang des Nullstromdetektors 26 verbunden.

Die mit 20 -34 bezeichneten Einrichtungen bilden eine Steuer- und Regelschaltung 19 für den Umrichter 36.

Die Betriebsweise der unter- und übersynchronen Stromrichteraskade gemäss Fig. 1 soll nun anhand der Figuren 2 -4 erläutert werden. In Fig. 2 sind auf der Ordinate einerseits das Verhältnis von Zwischenkreisstrom I_d zum Zwischenkreisenennstrom I_{dN} und andererseits das Betragsverhältnis von Rotorspannung U_R zu Rotorstillstandsspannung U_{RO} bzw. von Zwischenkreisspannung U_{dN} am Stromrichter 12 zu U_{RO} und auf der Abszisse das Verhältnis von Rotordrehzahl n zur Synchrondrehzahl n_s aufgetragen. Der Einfachheit halber sind physikalische Grössen und deren Signale gleich bezeichnet.

Beim Anfahren der Asynchronmaschine 5 ist der Netzschalter 2 geschlossen und der Zwischenkreisschalter 14 geöffnet. Am Zwischenkreiswiderstand 13 fällt die Spannung U_{13} ab. Der netzseitige Stromrichter 12 wird in seine Wechselrichter-Endlage gesteuert, entsprechend der tiefsten Drehzahl des Regelbereichs. Mit zunehmendem Hochlauf der Asynchronmaschine 5 wird der Stromrichter 12 so geregelt, dass der Anfahrstrom und damit der Zwischenkreisstrom I_d des Umrichters 36 auf einem vorgebbaren Wert, z.B. dem Zwischenkreisenennstrom I_{dN} , konstant gehalten wird. Dabei wird der Stromrichter 12 immer mehr in Richtung auf Gleichrichterbetrieb gefahren, wie die gestrichelt dargestellte Linie für U_{dN} / U_{RO} zeigt.

Der Anfahrbereich des Stromrichters 12 endet bei $n/n_s = 0,7 = n_{min}$. Bei diesem Wert entsprechenden Rotordrehzahl n wird der Zwischenkreiswiderstand 13 durch Schliessen des Zwischenkreisschalters 14 (Zünden des nicht dargestellten GTO-Thyristors) kurzgeschlossen, so dass der Spannungsabfall U_{13} verschwindet. Gleichzeitig wird der Stromrichter 12 wieder in seine Wechselrichter-Endlage gesteuert. Im anschliessenden Betriebsbereich von $0,7 \leq n/n_s \leq n_{max}$ erfolgt die Drehzahlregelung nur über den Stromrichter 12 mit Pulsbetrieb und $\cos \phi$ -Kompensation. Der Verlauf von I_d ist hier durch das verlangte Drehmoment und die geforderte Blindleistung gegeben.

Der Betrag der Rotorspannung U_R nimmt im Bereich von $0 \leq n/n_s \leq 1$ ab und danach wieder zu.

In den Bereichen $0 \leq n/n_s \leq 0,35$ und $0,7 \leq n/n_s \leq 1$ arbeitet der Stromrichter 12 im Wechselrichterbetrieb, wobei Energie über den Stromrichtertransformator 17 ins Stromversorgungsnetz 1 gespeist wird. In den Bereichen $0,35 \leq n/n_s \leq 0,7$ und $1 \leq n/n_s \leq n_{max}$ arbeitet der Stromrichter 12 im Gleichrichterbetrieb, wobei zusätzlicher Strom aus dem Stromversorgungsnetz bezogen wird.

Es versteht sich, dass anstelle des einen Zwischenkreiswiderstandes 13 zwei oder mehrere in Reihe geschaltete, einzeln kurzschliessbare Zwischenkreiswiderstände verwendet werden können, wobei dann die Umschaltbereiche entsprechend kürzer sind.

In den Fig. 3a) und 4a) ist der Zeitverlauf des Zwischenkreisstromes I_d dargestellt, dessen Pulsform durch den netzseitigen Stromrichter 12 erzeugt wird. Die Fig. 3b) ... 3d) und 4b) ... 4d) zeigen die drei ebenfalls pulsförmigen Rotorphasenströme I_{RU} , I_{RV} und I_{RW} in Abhängigkeit von der Zeit t mit Bezug auf den Zwischenkreisstrom I_d in den Fig. 3a) bzw. 4a). Hier wird die Pulsfolge durch das Phasenlagesignal ϕ des Koordinatenwandlers 31 für den maschinenseitigen Stromrichter 10 vorgegeben. In den Fig. 3b) ... 3d) und 4b) ... 4d) sind zusätzlich die Rotorphasenspannungen U_{RU} , U_{RV} und U_{RW} und deren Phasenlage zu den zugehörigen Rotorphasenströmen I_{RU} , I_{RV} und I_{RW} eingetragen.

Die Pulsfolge in den Fig. 3b) ... 3d) entspricht einem untersynchron generatorischen Betrieb mit der Folge U, V, W oder übersynchron motorischem Betrieb mit der Folge W, V, U. Die Pulsfolge in den Fig. 4b) ... 4d) entspricht einem untersynchron motorischen Betrieb mit der Folge U, V, W oder übersynchron generatorischem Betrieb mit der Folge W, V, U.

Wesentlich ist, dass der maschinenseitige Stromrichter 10 über den netzseitigen Stromrichter 12 im Pulsbetrieb zwangskommutiert wird. Dazu muss der Zwischenkreisstrom I_d kurzzeitig, d.h. im Bereich von $10 \mu s$ - $300 \mu s$, vorzugsweise während $20 \mu s$ den Wert Null annehmen. Mittels des Nullstromdetektors 26 wird detektiert, ob der durch den Umrichter-Stromdetektor 16 detektierte Zwischenkreisstrom $I_d < 10 A \dots 50 A$, vorzugsweise $< 10 A$, ist. Gleichzeitig wird mittels des Nullstromdetektors 26 geprüft, ob die Spannungen an den Thyristoren des Stromrichters 12 $> 10 V \dots 50 V$, vorzugsweise $> 20 V$, sind. Wenn alle drei Bedingungen für die Mindestzeitdauer, den Maximalstrom (unterschritten) und die Mindestspannung (überschritten) erfüllt sind, werden vom Nullstromdetektor 26 im Zündimpulsgeber 23 die Zündimpulse für den Stromrichter 10 in der neuen Zündlage freigegeben, so dass der Rotorstrom über den Stromrichter 10 weitergeschaltet, d.h. kommutiert wird.

Die Amplitude des Rotorstromes I_{RU} , I_{RV} und I_{RW} wird dabei über die Netzstromregelung im Stromrichter 12 und die Phasenlage des Rotorstromes über den maschinenseitigen Steuersatz bzw. Zündimpulsgeber 23 und Stromrichter 10 vorgege-

ben. Die Referenzspannung des maschinenseitigen Zündimpulsgebers 23 wird in dem Rechengerät bzw. Rotordrehfeldgeber 22 aus der Maschinendrehzahl und der Netzspannung errechnet.

Durch die Vorgabe von Amplitude und Phasenlage des Rotorstromes I_R lassen sich die zum Drehmoment M der Asynchronmaschine 5 proportionale Wirkleistung P bzw. die Drehzahl n und die Blindleistung Q bzw. der $\cos \phi$ der Asynchronmaschine 5 regeln, vgl. Fig. 5. Die Drehzahl n ist etwa im Bereich von 75 % -125 % der Synchrondrehzahl n_s regelbar.

In Fig. 5 sind mit I_m der Magnetisierungsstrom mit I_R (I_{RA} , I_{RB} , I_{RC}) der auf den Stator der Asynchronmaschine 5 umgerechnete Rotorstrom I_R , mit I_{St} (I_{StA} , I_{StB} , I_{StC}) der Statorstrom und mit U_{St} die Statorspannung bezeichnet. Der Punkt A kennzeichnet Motorbetrieb der Asynchronmaschine 5 mit induktivem $\cos \phi$. Der Punkt B kennzeichnet Motorbetrieb der Asynchronmaschine 5 mit kapazitivem $\cos \phi$. Der Punkt C kennzeichnet Generatorbetrieb der Asynchronmaschine 5 mit kapazitivem $\cos \phi$.

Es versteht sich, dass der Steuerschaltungs-Transformator 18 unter Umständen entfallen kann. Anstelle des Drehzahlgebers 6 kann auch ein mit der Rotorwelle gekoppelter (gestrichelt angedeutet) dreiphasiger Tachometergenerator 9 vorgesehen sein, dessen drei Ausgangssignale über ein Gleichrichtergerät 21 dem "-"-Eingang des Subtrahiergliedes 27 als Drehzahlwertsignal n_x^* zugeführt sind, anstelle des Drehzahlwertsignals n_x am Ausgang des Drehzahl-Spannungswandlers 20. Die drei Ausgangssignale des Tachometergenerators 9 sind dann auch dem Rotordrehfeldgeber 29 zugeführt, anstelle der Ausgangssignale des Drehzahlimpulsdetektors 7 und des Synchronimpulsdetektors 8.

Die beschriebene unter-und übersynchrone Stromrichteraskade sowie das Verfahren zu deren Betrieb sind nicht auf dreiphasige Schaltungen beschränkt, da das gezielt herbeigeführte, kurzzeitige Verschwinden des Zwischenkreisstromes I_d unabhängig ist von der Phasenzahl des Stromversorgungsnetzes 1 und der Asynchronmaschine 5.

Sowohl der netzseitige als auch der maschinenseitige Stromrichter können zwölfpolig aufgebaut werden.

Ansprüche

1. Unter-und übersynchrone Stromrichteraskade

a) mit einer an einen Umrichter (36) angeschlossenen Asynchronmaschine (5) mit Schleifringrotor,

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

b) welcher Umrichter einen netzseitigen Stromrichter (12) aufweist, der über einen Gleichstromzwischenkreis mit einem maschinenseitigen Stromrichter (10) verbunden ist,

c) mit einer Steuerschaltung (19) zum Schalten der Ventile des netzseitigen Stromrichters (12),

d) die einen netzseitigen Zündimpulsgeber (24) für den netzseitigen Stromrichter aufweist und

e) mit einem Drehzahlregler (28), dem eingangsseitig ein Drehzahldifferenzsignal zugeführt ist, das proportional der Differenz zwischen Drehzahl Sollwert (n_w) und Drehzahl Istwert (n_x) ist,

f) mit einem Stromregler (33), der eingangsseitig mit dem Ausgang des Drehzahlreglers (28) und ausgangsseitig mit dem netzseitigen Zündimpulsgeber (24) in Steuerverbindung steht,

g) mit einem Nullstromdetektor (26), dem eingangsseitig mindestens ein Signal zugeführt ist, das für den Ausschaltzustand von Ventilen des netzseitigen Stromrichters (12) kennzeichnend ist,

h) mit einem maschinenseitigen Zündimpulsgeber (23) der eingangsseitig mit dem Ausgang des Nullstromdetektors und ausgangsseitig mit dem Steuereingang des maschinenseitigen Stromrichters (10) in Wirkverbindung steht,

i) mit einem Rotordrehfeldgeber (22), der eingangsseitig mit einem Drehzahlgeber (6) oder mit einem Tachometergenerator (9) und ausgangsseitig mit einem Steuereingang des maschinenseitigen Zündimpulsgebers (23) in Wirkverbindung steht,

j) dass ein Koordinatenwandler (31) für eine Umwandlung von kartesischen in Polarkoordinaten vorgesehen ist, der eingangsseitig einerseits mit dem Ausgang des Drehzahlreglers (28) und andererseits mit dem Ausgang eines Blindstromreglers (30) in Wirkverbindung steht,

k) wobei der Winkelsignalausgang des Koordinatenwandlers mit einem Steuereingang des maschinenseitigen Zündimpulsgebers (23) und

l) dessen Betragsausgang mit dem Eingang des Stromreglers (33) in Wirkverbindung steht,

m) wobei ferner dem Blindstromregler eingangsseitig ein Blindstromdifferenzsignal zugeführt ist, das proportional der Differenz zwischen Blindstrom Sollwert (I_{Bw}) und Blindstrom Istwert (I_{Bx}) ist.

2. Unter-und übersynchrone Stromrichteraskade nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

a) dass das Betragssignal des Koordinatenwandlers (31) über einen "+"-Eingang eines Subtrahiergliedes (32) mit dem Eingang des Stromreglers (33) verbunden ist,

b) wobei ein "-"-Eingang des Subtrahiergliedes mit dem Ausgang eines Umrichter-Stromdetektors (16) in Wirkverbindung steht, an dessen Ausgang das Umrichter-Stromsignal (S_{16}) anliegt.

3. Unter-und übersynchrone Stromrichter-
kade nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet,

a) dass eine Blindstrom-Istwerterfassungseinrichtung (25) vorgesehen ist,

b) die eingangsseitig einerseits mit dem
Ausgang eines Netzstromdetektors (3) und

c) andererseits mit dem Ausgang eines
Umrichter-Transformators (17) in Wirkverbindung
steht und

d) die ausgangsseitig (I_{Bx}) über einen "-"-
Eingang eines Subtrahiergliedes (29) mit dem
Blindstromregler (30) in Wirkverbindung steht,

e) wobei einem "+"-Eingang dieses Subtra-
hiergliedes das Blindstromsollwertsignal (I_{Bw}) zu-
geführt ist.

4. Unter-und übersynchrone Stromrichter-
kade nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch
gekennzeichnet, dass der Rotordrehfeldgeber (22)
eingangsseitig einerseits mit einem Synchronre-
himpulsdetektor (8) und andererseits mit einem
Drehzahlimpulsdetektor (7) des Drehzahlgebers (6)
in Wirkverbindung steht.

5. Unter-und übersynchrone Stromrichter-
kade nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
gekennzeichnet,

a) dass das den Ausschaltzustand von Ventilen
des netzseitigen Stromrichters (10) kennzeich-
nende Signal wenigstens ein Thyristorspannungssig-
nal (S15) enthält,

b) insbesondere, dass es zusätzlich ein
Umrichter-Stromsignal (S16) enthält.

6. Verfahren zum Betrieb einer unter-und
übersynchronen Stromrichter-
kaskade mit einer an
einen Umrichter (36) angeschlossenen
Asynchronmaschine (5),

a) wobei der Zwischenkreisumrichter (36)
der Stromrichter-
kaskade im Pulsverfahren betrie-
ben wird,

b) wobei ferner der Zwischenkreisstrom (I_d)
durch Unterbrechen des Stromes über den netzsei-
tigen Stromrichter (12) kurzzeitig verschwindet, so
dass eine Kommutierung der Ventile des ma-
schinenseitigen Stromrichters (10) möglich ist,
dadurch gekennzeichnet,

c) dass Amplitude und Phasenlage des Zwi-
schenkreisstromes (I_d) in Abhängigkeit von einer
Soll-Blindleistung (I_{Bw}) geregelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch ge-
kennzeichnet,

a) dass ein Weiterschalten der Ventile des
maschinenseitigen Stromrichters (10) erst dann
vorgenommen wird, wenn während mindestens 10
us der Zwischenkreisstrom (I_d) < 50 A ist und wenn
gleichzeitig die Spannung der Ventile des netzsei-
tigen Stromrichters (12) grösser als 10 V ist,

b) insbesondere, dass ein Einschalten der
Ventile des maschinenseitigen Stromrichters (10)
erst dann vorgenommen wird, wenn während min-
destens 20 us der Zwischenkreisstrom (I_d) < 10 A
ist und wenn gleichzeitig die Spannung der Ventile
des netzseitigen Stromrichters (12) grösser als 20
V ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch
gekennzeichnet, dass der Rotorstrom der
Asynchronmaschine (5) im unter-und
übersynchronen Betriebsbereich nach Betrag (I)
und Winkel (ϕ) vorgegeben wird.

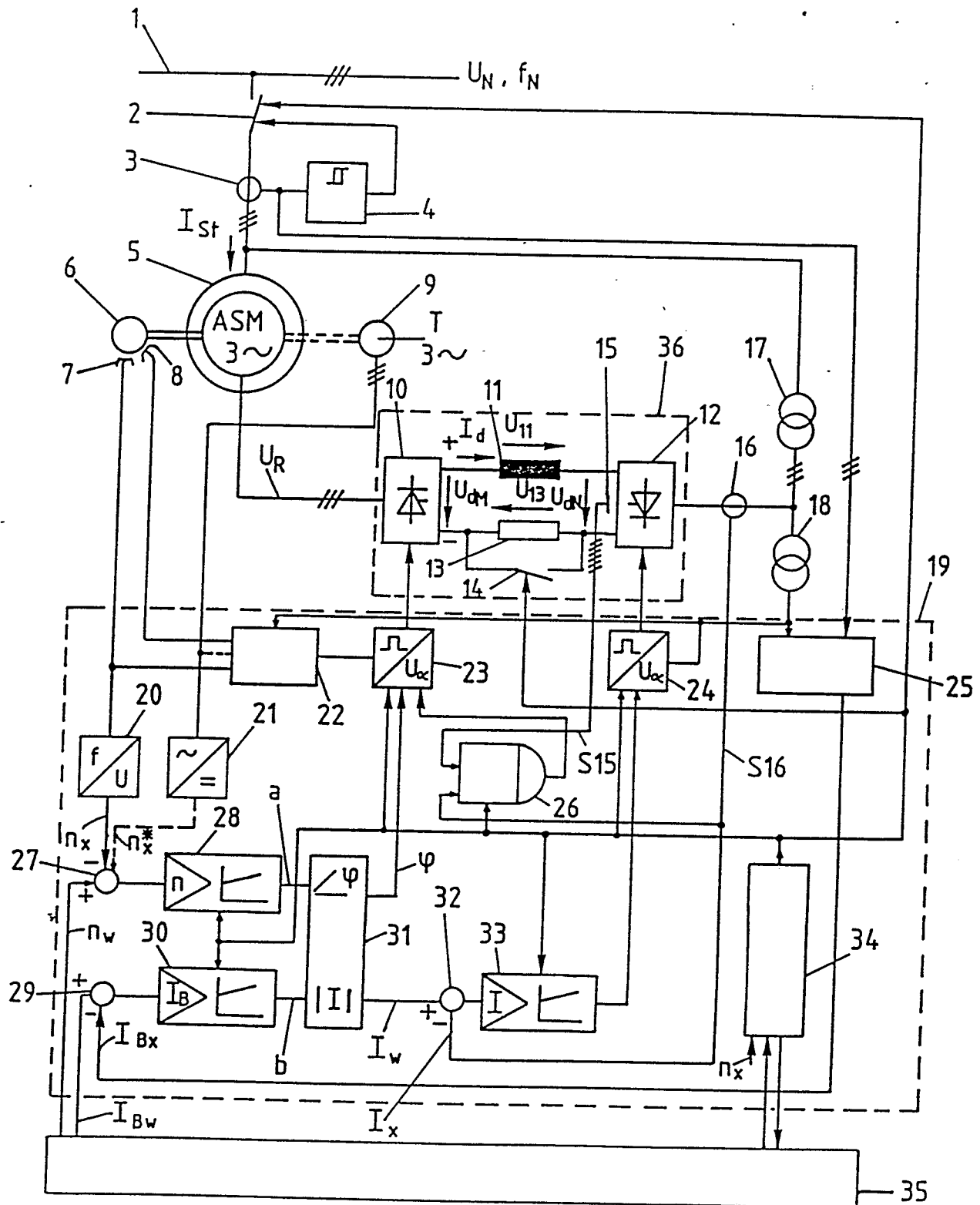


FIG. 1

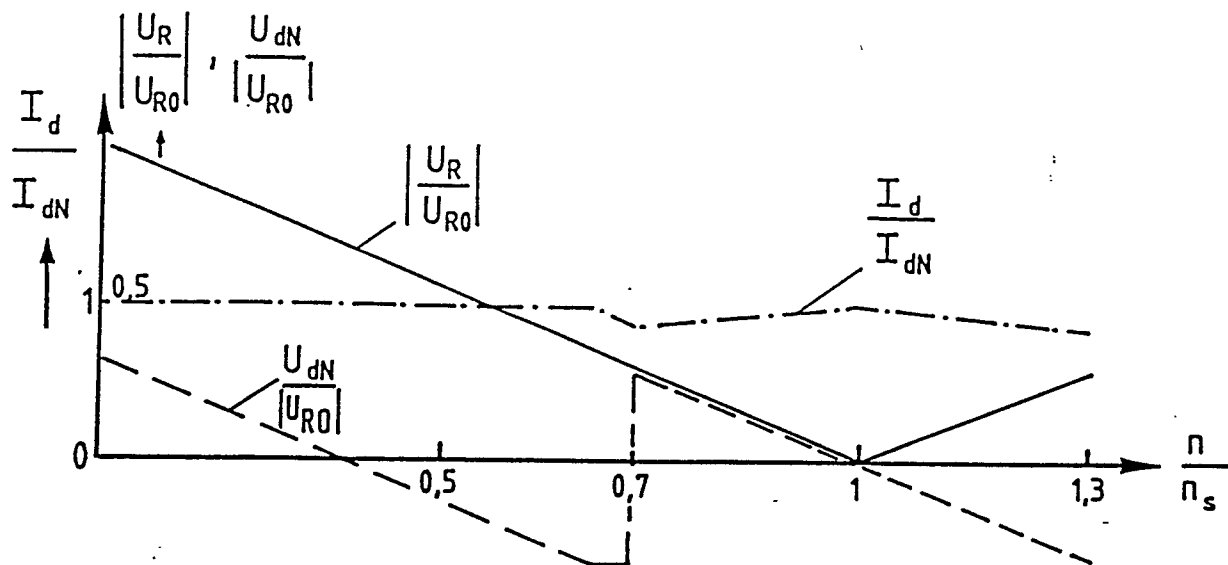


FIG. 2

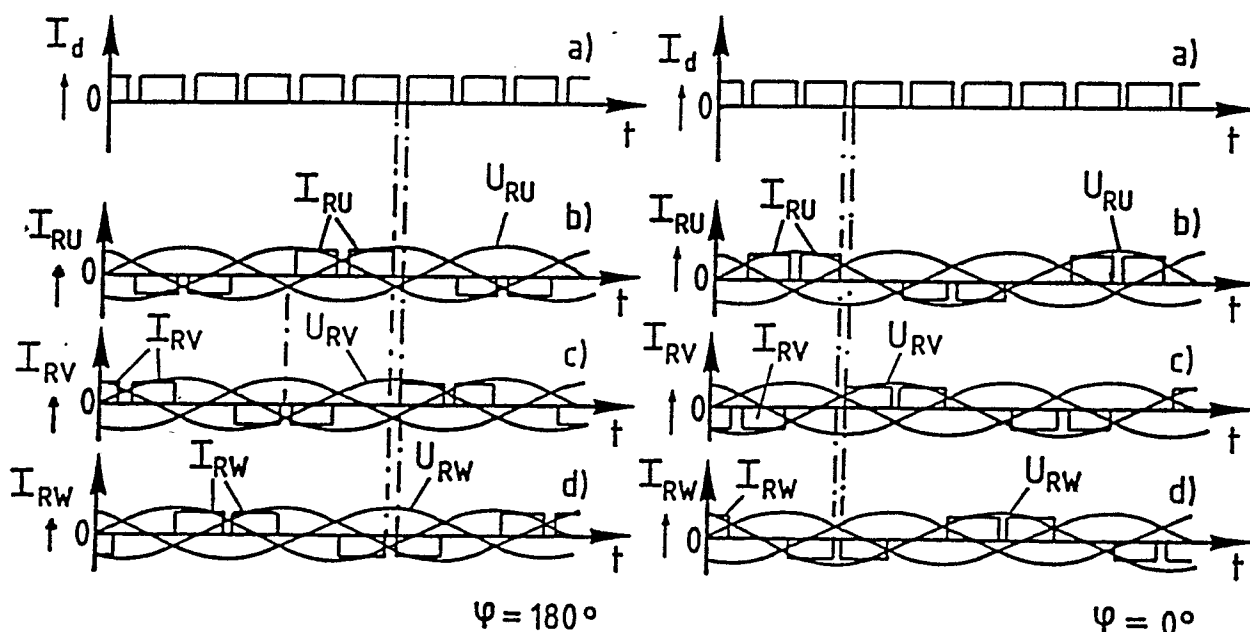


FIG. 3

FIG. 4

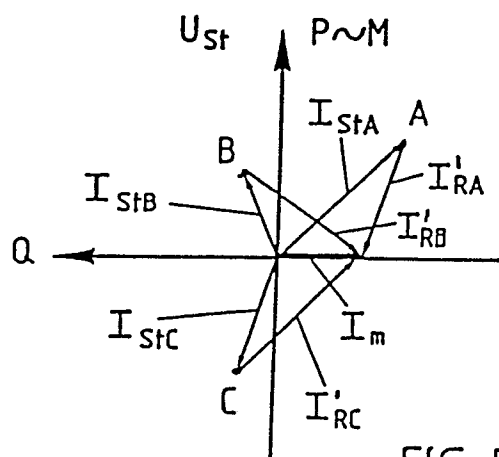


FIG. 5